



CMS Experiment at the LHC, CERN
Data recorded: 2012-May-27 23:35:47.271030 GMT
Run/Event: 195099 / 137440354

Parçacık Yapılandırma - 1

iz, köşe, μ , e , γ , τ , KDE

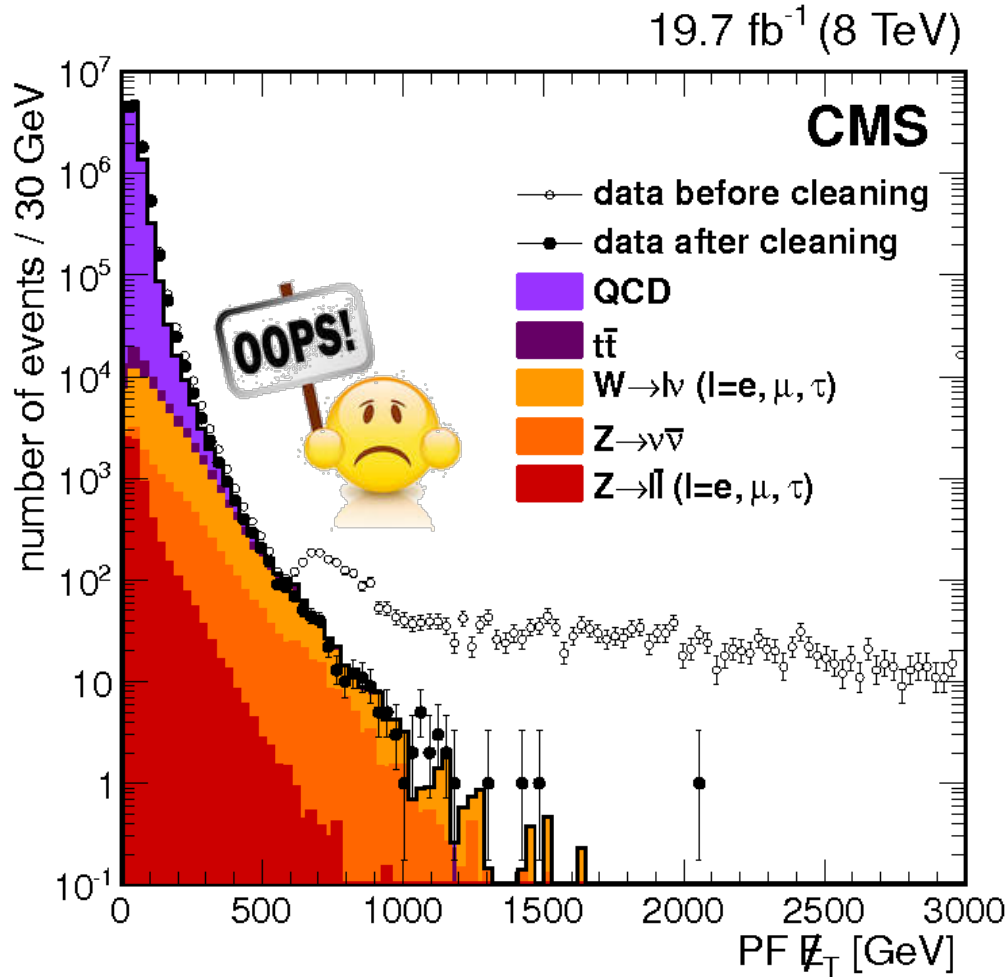
Sezen Sekmen

Kyungpook Ulusal Üniversitesi, CMS Deneyi

PFBU 2020

İstanbul Üniversitesi, 2-7 Şubat 2020

Doğru sonuca giden yol uzundur.



Gördüğümüz her ilginç şey keşif olmayabilir.

Nesneler ve olaylar analiz sonucuna katkı vermeden önce ciddi bir temizlik ve seçim işleminden geçerler.

Algıçtan çıkan bilgiden analiz sonucuna uzuuuun bir yol vardır.

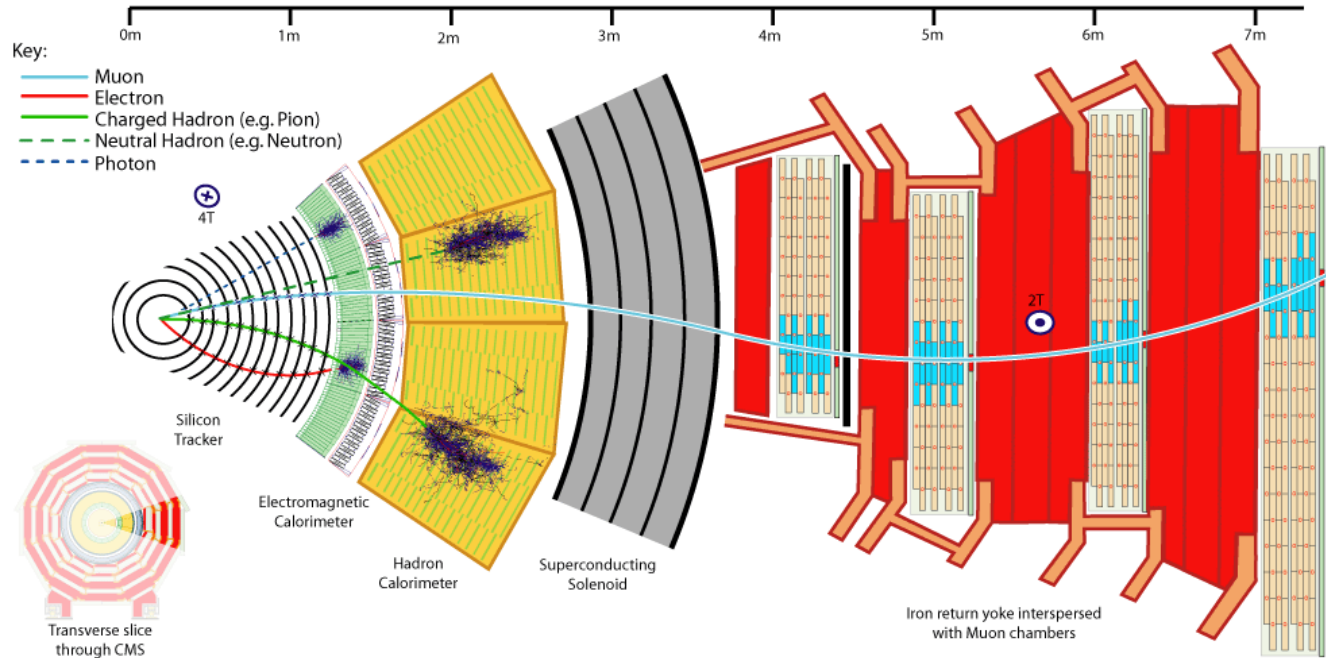


Nesne yapılandırma ve tanımlama

Etkileşim sonrasında ortaya çıkan parçacıkların algıçta görüntülenen hallerine **nesnelere** denir: **jet, b-jet, e, μ , τ , γ , kayıp dikey enerji (MET)**.

Nesneleri alt algılardan toplanan bilgileri derleyerek oluştururuz:

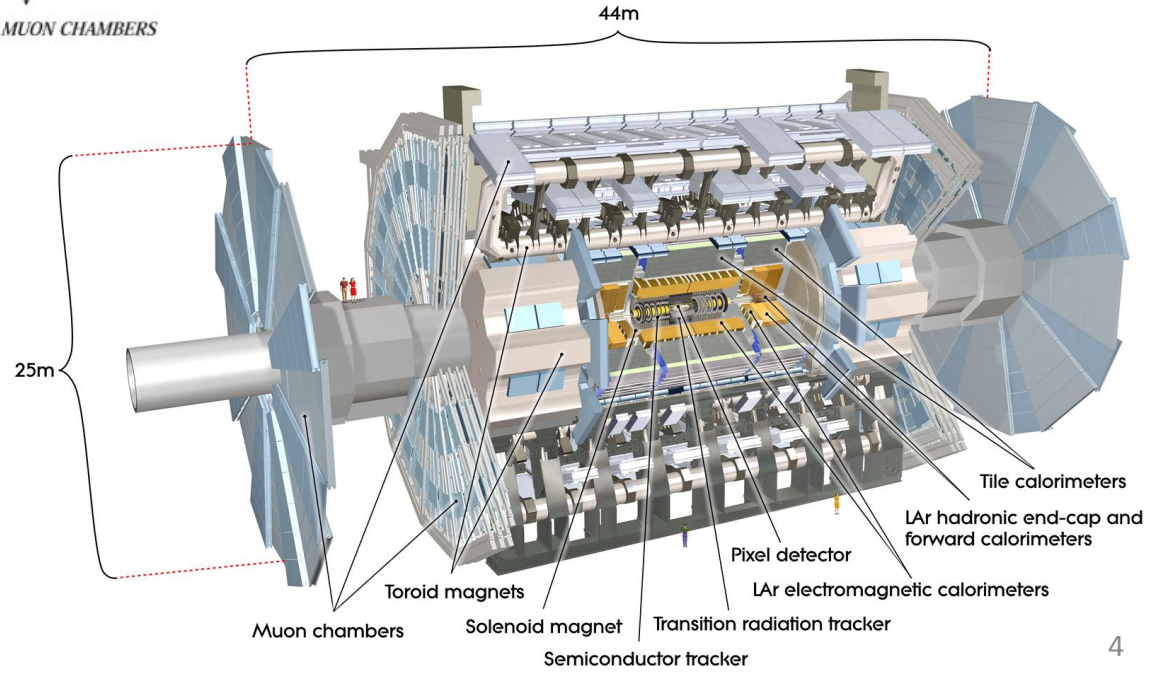
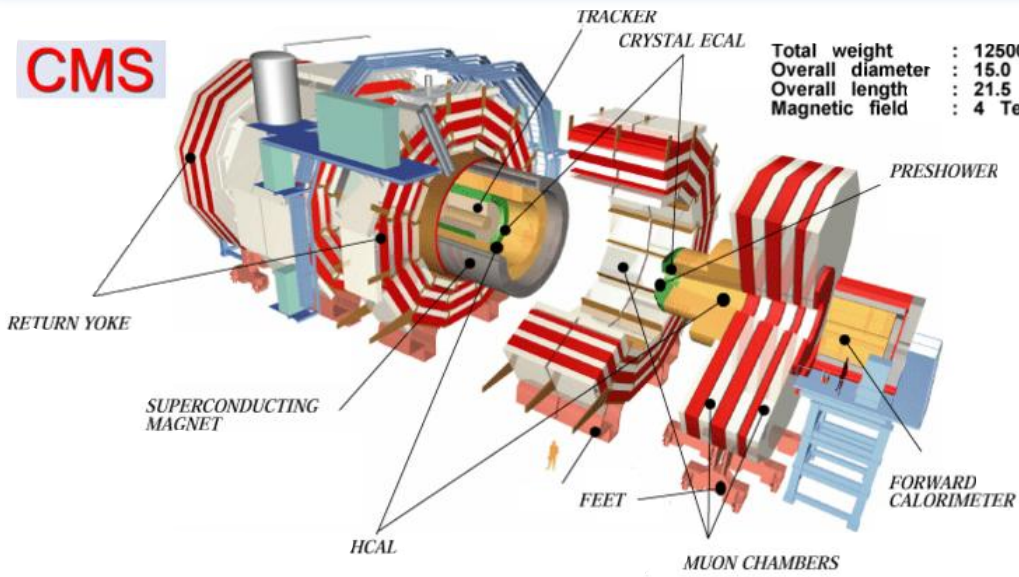
- İz sürücü ve muon odasındaki vurmalar.
- Elektron ve hadron kalorimetrelerindeki enerji birikintileri.



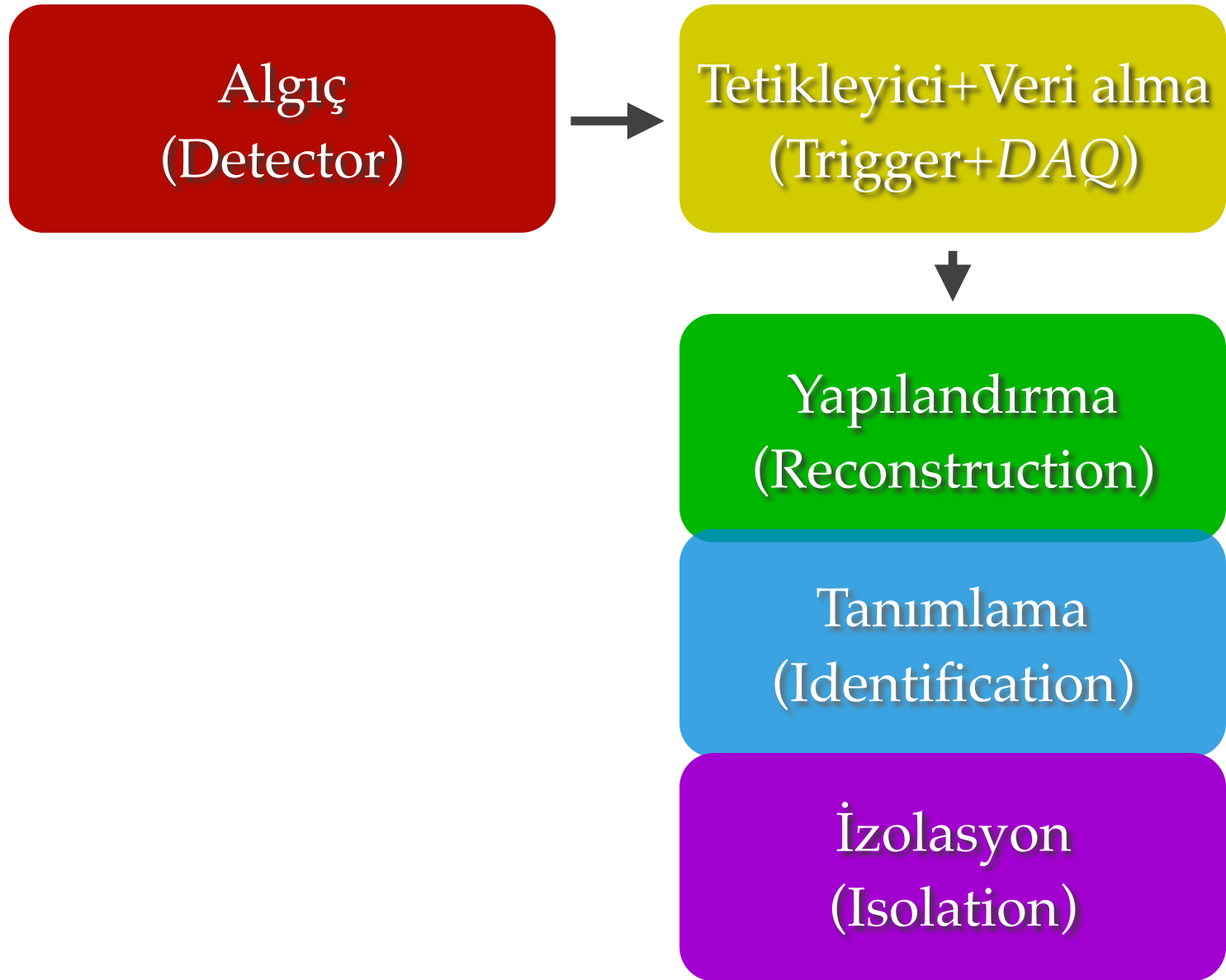
CMS ve ATLAS algıçları

CMS

Total weight : 12500 T
 Overall diameter : 15.0 m
 Overall length : 21.5 m
 Magnetic field : 4 Tesla



Nesne yapılandırma ve tanımlama





Nesne yapılandırmak, tanımlamak



Nesne yapılandırmak ve ilişkili kavramlar

- **Yapılandırmak (reconstruction):** Bir parçacığın etkileşebileceği tüm alt algılardaki izleri bulup uygun şekilde derleyerek bir araya getirmek. Bu aşamanın sonucu 4-momentumu ve tanımlayıcı özellikleri olan bir nesnedir.
- **Tanımlamak (identification):** Yapılandırılmış nesnenin istenen parçacık tipinde olması için özellikleri üzerinde kısıtlayıcı seçimler yapmak. Bu sayede elektron olarak tanımlanan nesnenin gerçekten de elektron olma olasılığı artar. Sahte nesnelere elemeye yarar.
- **İzolasyon (isolation):** Nesnenin tek parçacıktan gelmiş olduğunu kesinleştirmek ve başka nesnelere çakışan nesnelere reddetmek için momentum, η ve ϕ değerleri kullanarak seçim yapmak.



Nesne yapılandırma yöntemleri

Algıç bileşenlerinden (iz yakalayıcı, EKAL, HKAL, müon odası...) gelen bilgiler birleştirilerek **analiz nesnelere** oluşturulur. Bu işlem iki yoldan yapılabilir:

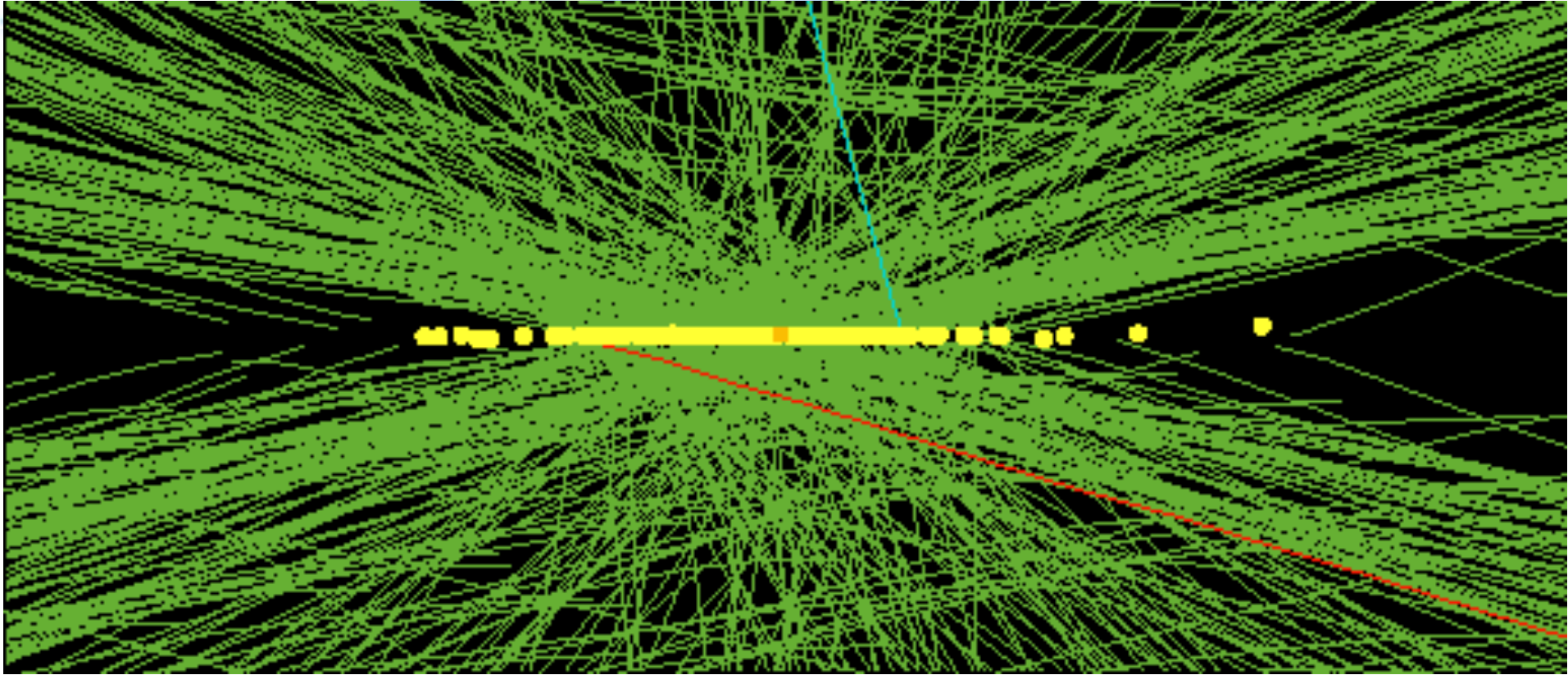
- **Doğrudan yapılandırma:**

- Nesnelere **tek aşamada** yapılandırılır. Jetleri doğrudan kalorimetrelerdeki enerji birikimlerinden yapılandırılır.

- **Parçacık akışı yöntemi (PA) / Particle Flow (PF):**

- Olay odaklıdır.
- Önce tüm algıç bileşenlerinden gelen veriyi kullanarak çarpışma olaylarında ortaya çıkan **her bir parçacığı** yapılandırılır.
- Başlıca fark jet yapılandırmasındadır. Jeti oluşturan parçacıklar ayrı ayrı yapılandırılır.

Yüklü parçacık izleri (track)



İzler ne işe yarar?

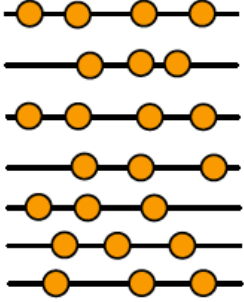
- Parçacığın **gidiş yolunu (trajectory)** ölçmek:
 - momentum (p), enerji kaybı (dE/dx), kalorimetrelerle bağlantı, muon algıçlarıyla bağlantı (muon yapılandırmasının ilk adımı) belirlemek.
- Ana etkileşme merkezinin **köşesini** bulmak.
- Uzun ömürlü parçacıkların oluşturduğu **ikincil köşeleri** bulmak.

İz yapılandırma

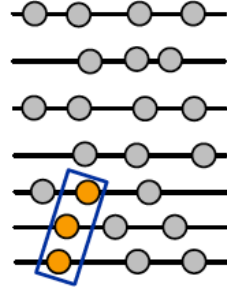
- Çarpışma olaylarında ortaya çıkan **yüklü parçacıkların** ilk karşılaştıkları algıç bölümü, **iz yakalayıcıdır (tracker)**.
- Yüklü parçacıklar iz yakalayıcıdan geçerken **iyonlaştırma yoluyla enerji bırakır**.
- Yakalanıp elektrik işaretlerine dönüştürülen bu enerjilere **vuruş (hit)** denir.
- Eğer algıcın **manyetik alanı** varsa **yüklü parçacıklar Lorentz kuvvetinin etkisiyle eğri bir yol izler**.
- Yüklü bir parçacığın algıç içerisinde **izlediği yolun (trajectory)**, yani izinin yapılandırılması **vuruşların anlamlı bir biçimde birleştirilmesiyle** yapılır. Farklı algoritmalar kullanılır.
- Bu iş için kullanılan yazılım algoritmaları parçacığın yolundaki bükülmeyi ve parçacığın algıç **malzemesi ile etkileşiminden doğan enerji-momentum kayıplarını** dikkate alır.
- İz sürücünde **yüksek uzaysal çözünürlük**, hassas iz yapılandırmanın olmazsa olmazıdır.

İz yapılandırma

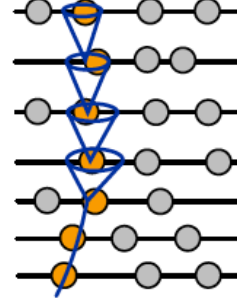
İz bulma aşamaları:



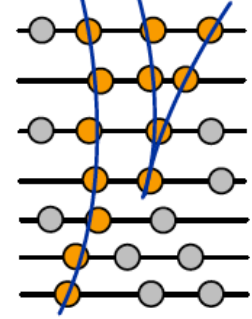
Vuruşlar (hits):
İz sürücünde yük
birikimleri.



Tohumlama (seed):
İz adaylarının
başlangıçları
bulunur.



Şekil tanıma
(pattern recognition):
Vuruşlar izlerle
ilişkilendirilir.

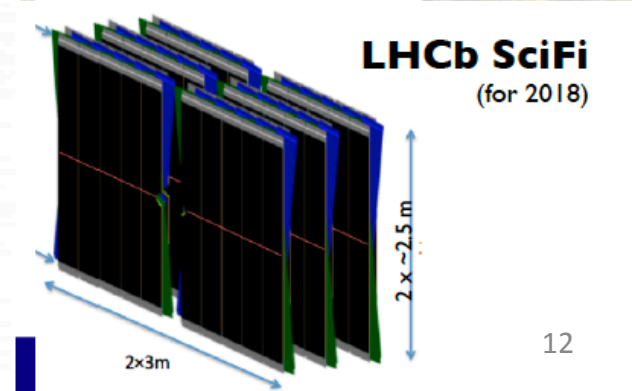
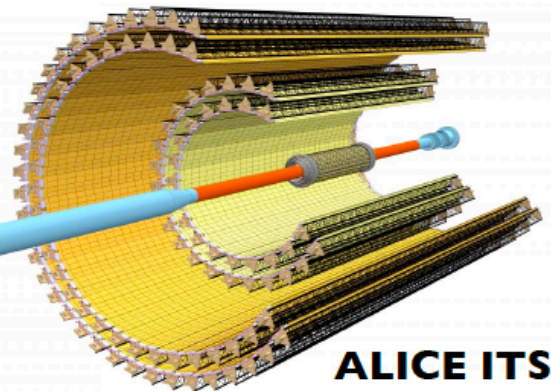
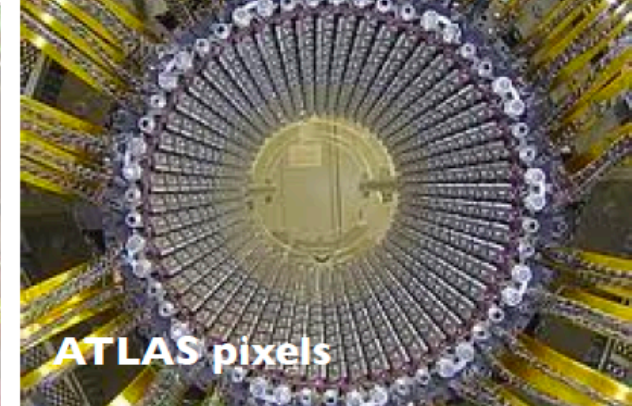
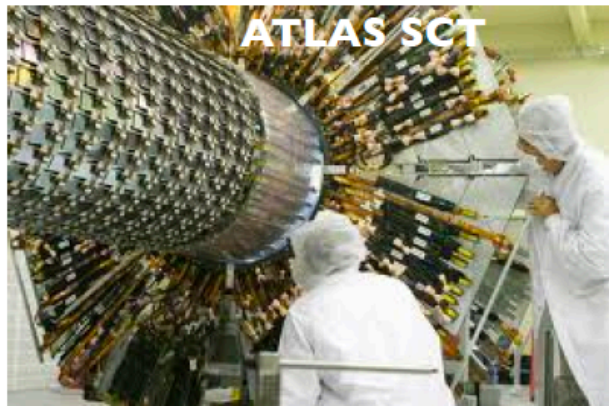
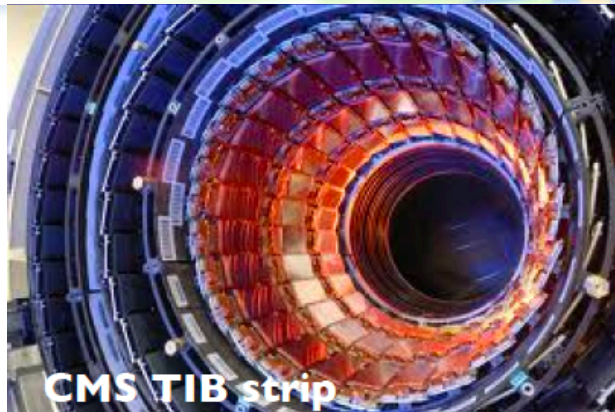


İz oturtma (fit):
İz kinematik
parametreleri
belirlenir.

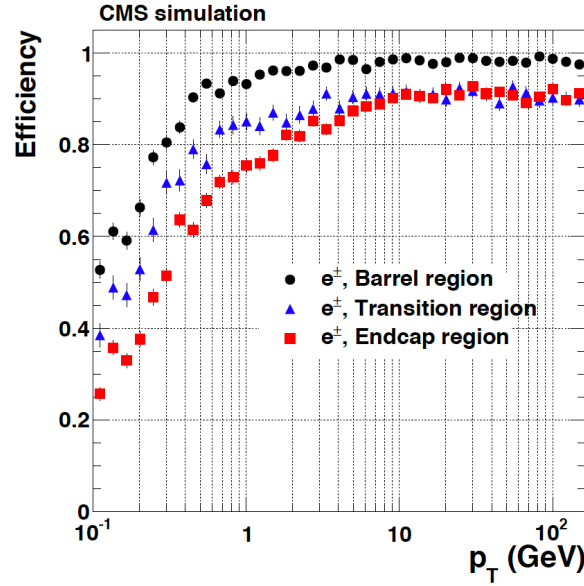
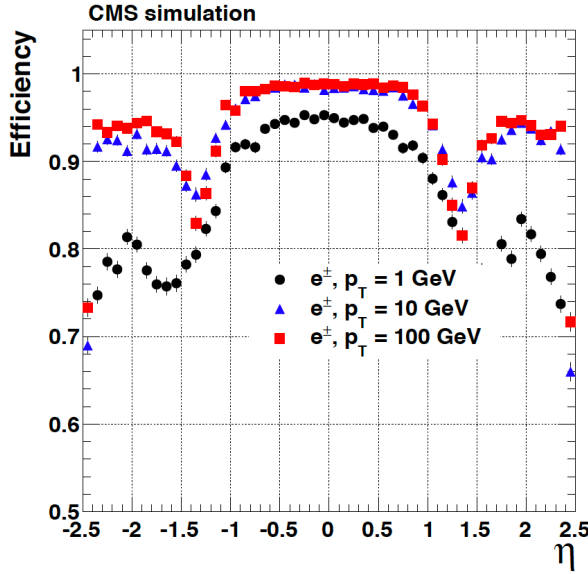
İz yakalayıcı şu parametreleri ölçebilir:

- Momentum
- Elektrik yükün işareti ($\text{sign}(q)$)
- Yaşam süresi (lifetime): İkincil köşe (secondary vertex) bulunarak yapılır
- Kütle: $p = m_0\gamma\beta$ (β iz sürücünden bulunur).

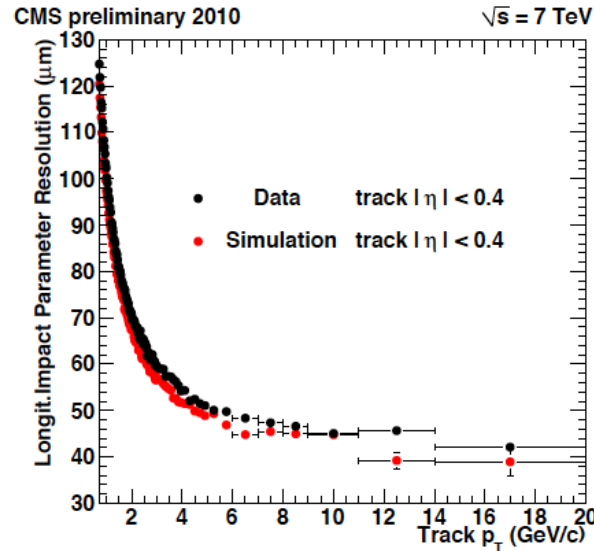
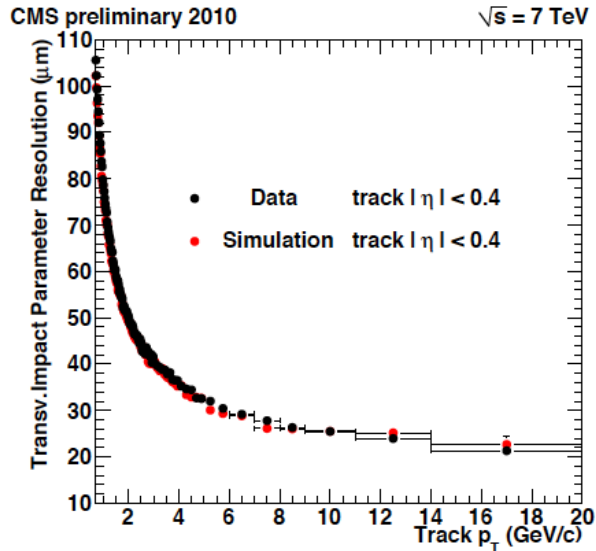
LHCde iz sürücüler



İz bulma performansı

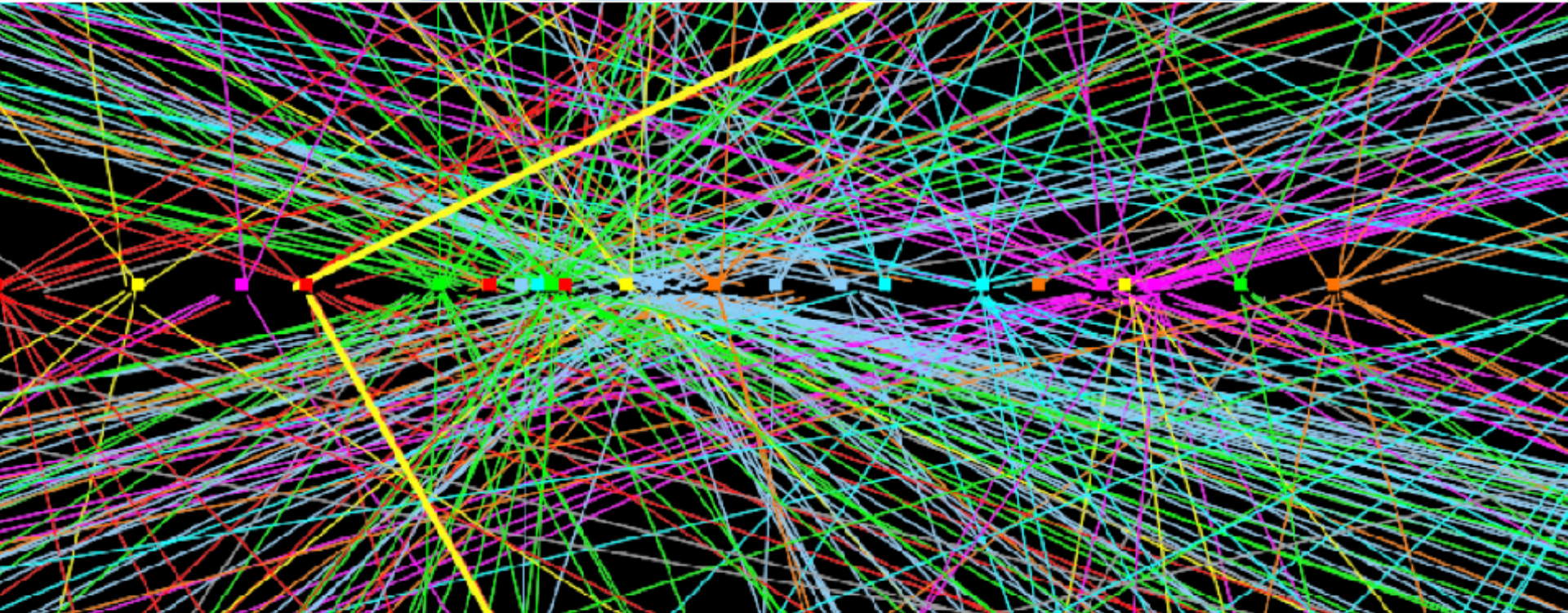


Elektronlara ait izlerin yapılandırma verimliliği (CMS verisi).



İz yaklaşıklık parametresi (impact parameter) izin çarpışma merkezine en yakın olduğu noktada merkeze dikey uzaklığıdır. Yaklaşıklık parametresi çözünürlüğü yüksek momentumlu izler için daha büyüktür.

Köşe (vertex)

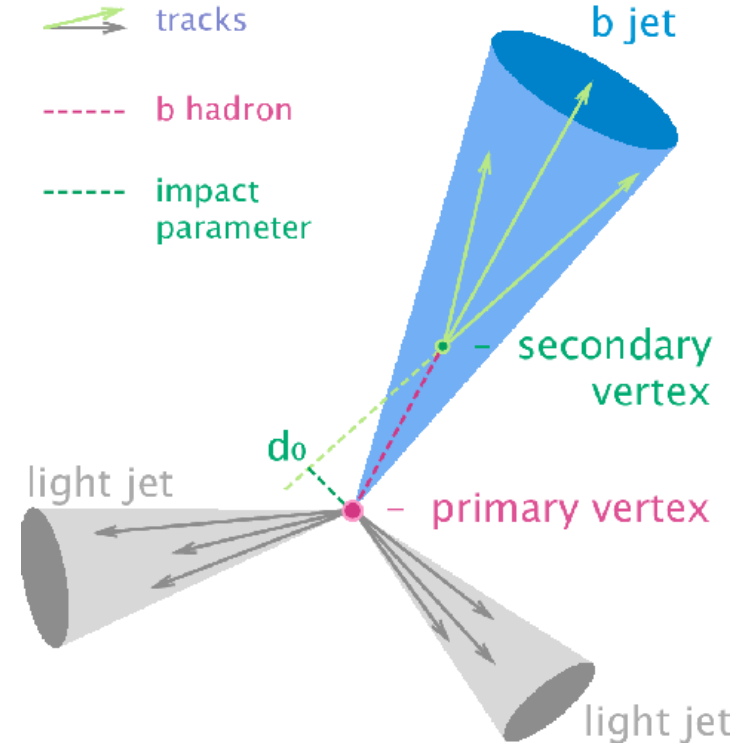


Köşe ne işe yarar?

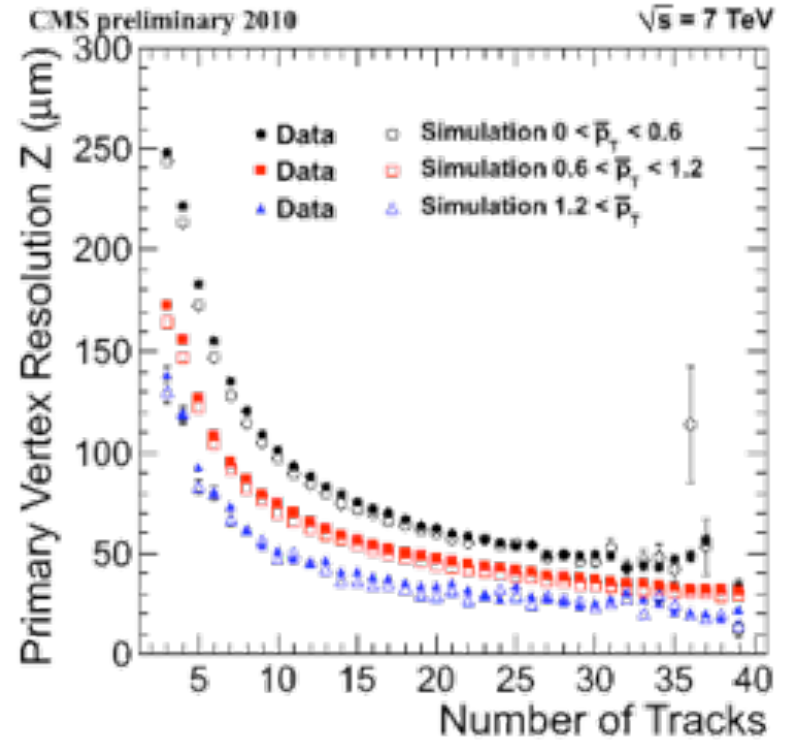
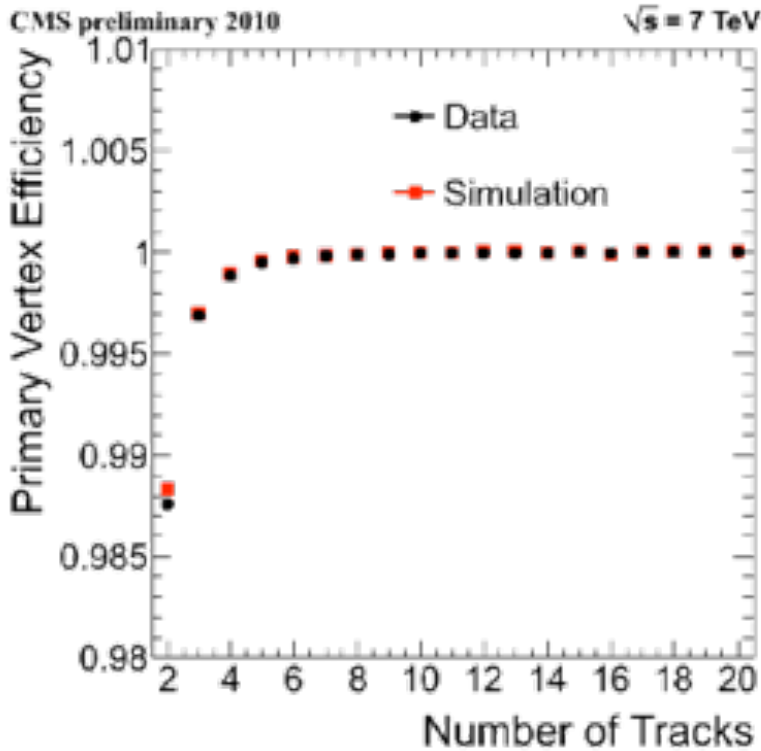
- Ana etkileşimin gerçekleştiği noktayı bulmak.
- Olayda uzun ömürlü parçacıkların (b-kuark, c-kuark ya da bazı yeni fizik parçacıkları) varlıklarını sorgulamak.
- Yığılma (pileup) kaynaklı parçacıkların olaya etkisini ölçmek.

Köşe yapılandırma

- Bir etkileşimin gerçekleştiği nokta **köşe (vertex)** olarak adlandırılır.
- Çarpışmadaki **ana etkileşimin** (LHCde $pp \rightarrow X$) gerçekleştiği noktaya **birincil köşe** denir.
- **Uzun ömürlü parçacıkların** (ör. c ve b kuarklar, çeşitli yeni parçacıklar...) bozdukları noktalara **ikincil köşeler** denir.
- Köşe yapılandırma için izler kullanılır.
 - İzler **köşe adaylarını** belirlemek üzere gruplandırılır.
 - **Köşe uydurma (fit)**: Köşe parametreleri konum için en iyi χ^2 değeri verecek şekilde fit edilir.
 - Tüm izlere **aday köşe ile uyumluluk** χ^2 değerine bağlı bir ağırlık verilir.
 - Köşe adayları **tekrarlı olarak ard arda fit edilir** ve ağırlıklar her adımda güncellenir.
 - Elde edilen **köşeler içerdikleri izlerin p_T değerlerinin toplamına göre sıralanır**.
 - Yığıntı (pileup) etkileşimlerden dolayı bir olayda genellikle birden fazla köşe bulunur. **En yüksek p_T toplamına sahip köşe ana etkileşim noktası olarak belirlenir.**



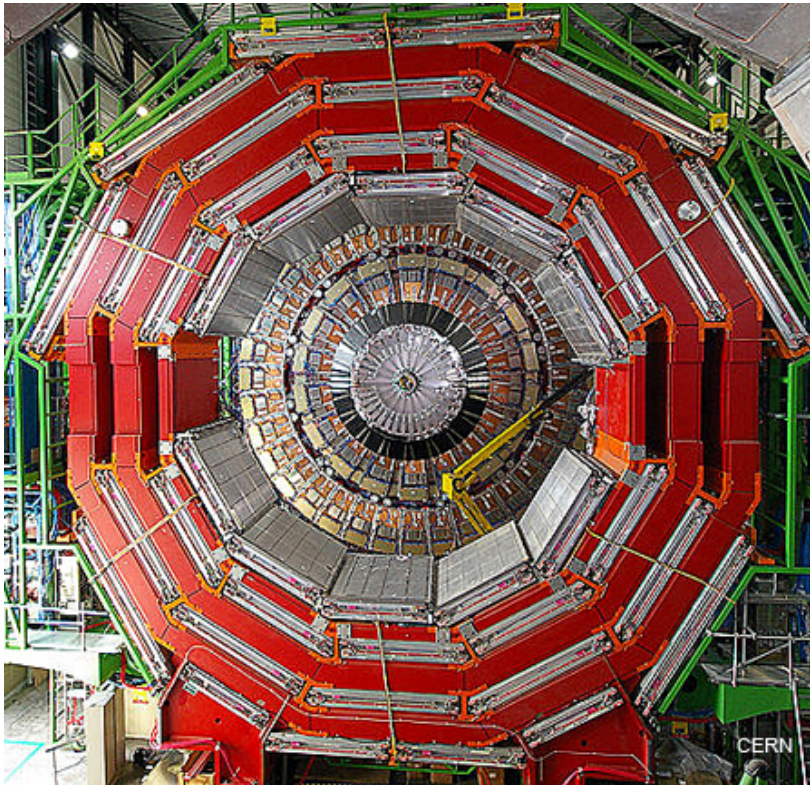
Köşe bulma performansı



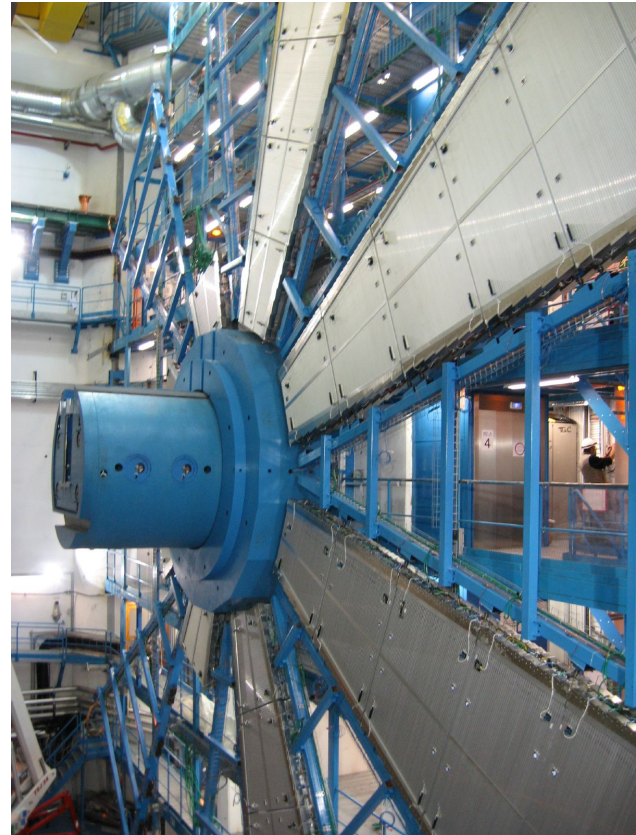
Köşe yapılandırma verimliliği ve birincil köşe çözünürlüğü iz sayısına göre değişir. Daha verimli bir yapılandırma için daha çok iz gerekir.

Müon algıçları

CMS

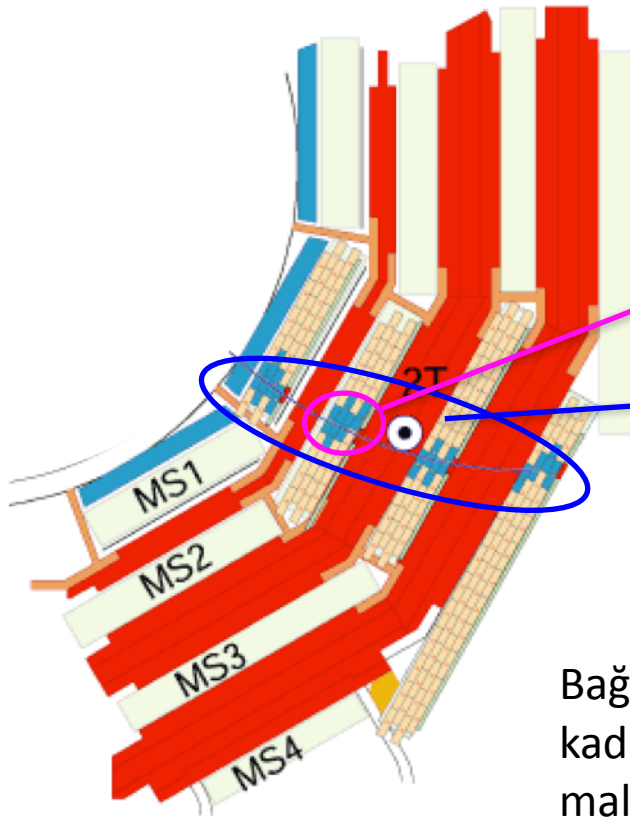


ATLAS



Müon odalarında müon yapılandırmak

Müonlar **ağırdır**. Bu nedenle **ışınım yapmazlar**. Kalorimetrelerle **iyonizasyon yoluyla** az miktarda etkileşirler. Müon odalarına erişip iki aşamada yapılandırılırlar.

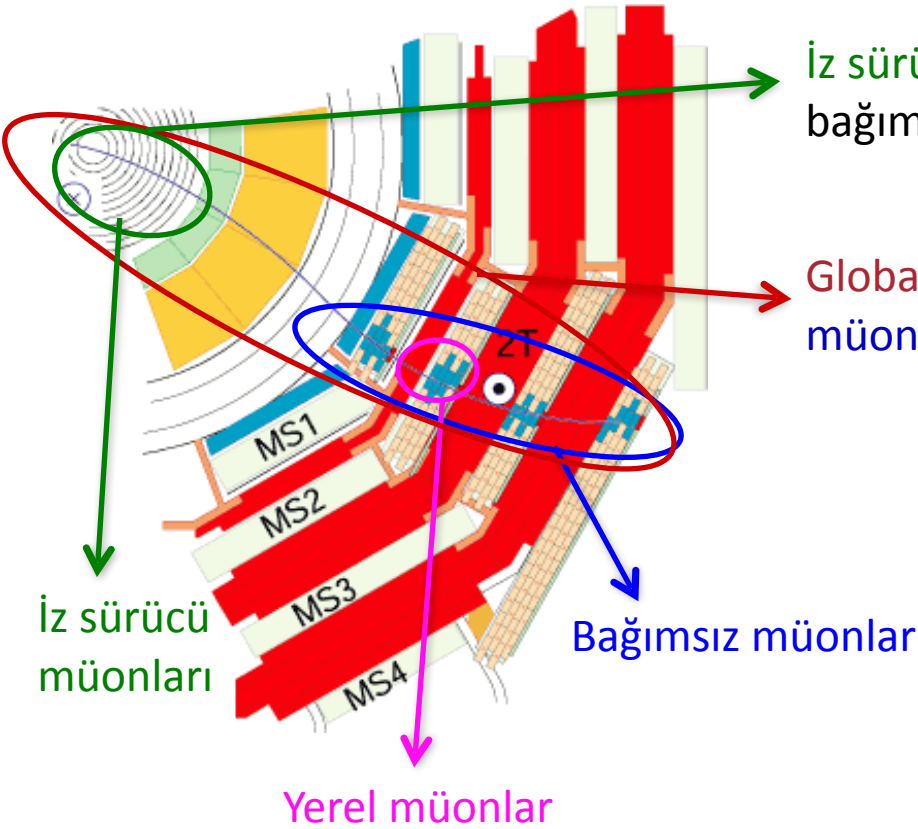


Yerel müonlar: Her odadaki vurmalar bulunup birleştirilerek **müon segmentleri** oluşturulur.

Bağımsız (standalone) müonlar: Segmentler birleştirilir ve müon sisteminde **müon gidiş yolu (trajectory)** oluşturulur.

Bağımsız müon momentum çözünürlüğü $dp/p \sim \%10$ kadardır. Çözünürlük müon sistemine girmeden önceki malzemenin içindeki çoklu saçılımdan etkilenir.

Global müon yapılandırmak



İz sürücü müonları: Müon odalarında yapılanmış bağımsız müonlar ile **uyumlu izler** bulunur.

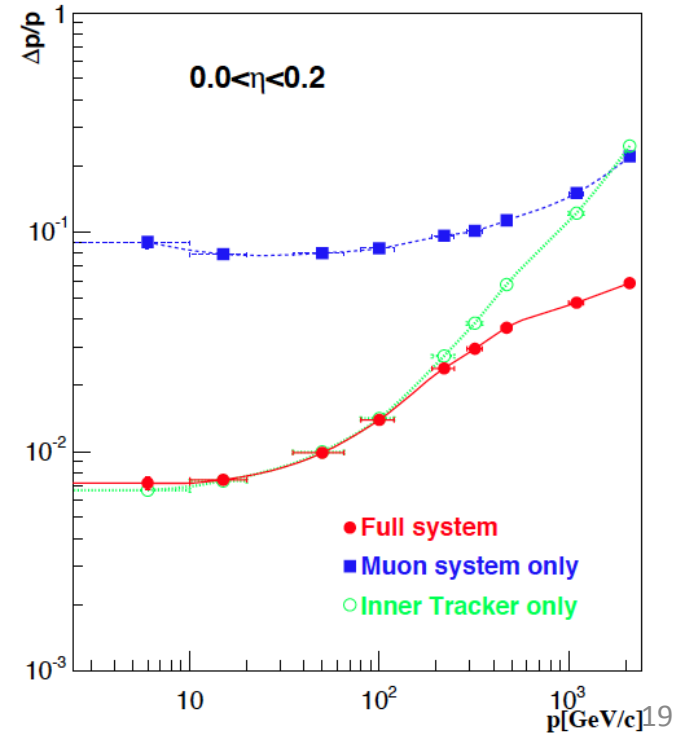
Global müonlar: İz sürücü müonları ile bağımsız müonlar bağdaştırılarak müon gidiş yolu belirlenir.

İz sürücü müonları

Bağımsız müonlar

Yerel müonlar

İz sürücü ve müon sistemlerindeki bilgileri birleştirmek müon çözünürlüğünü ciddi oranda artırır.

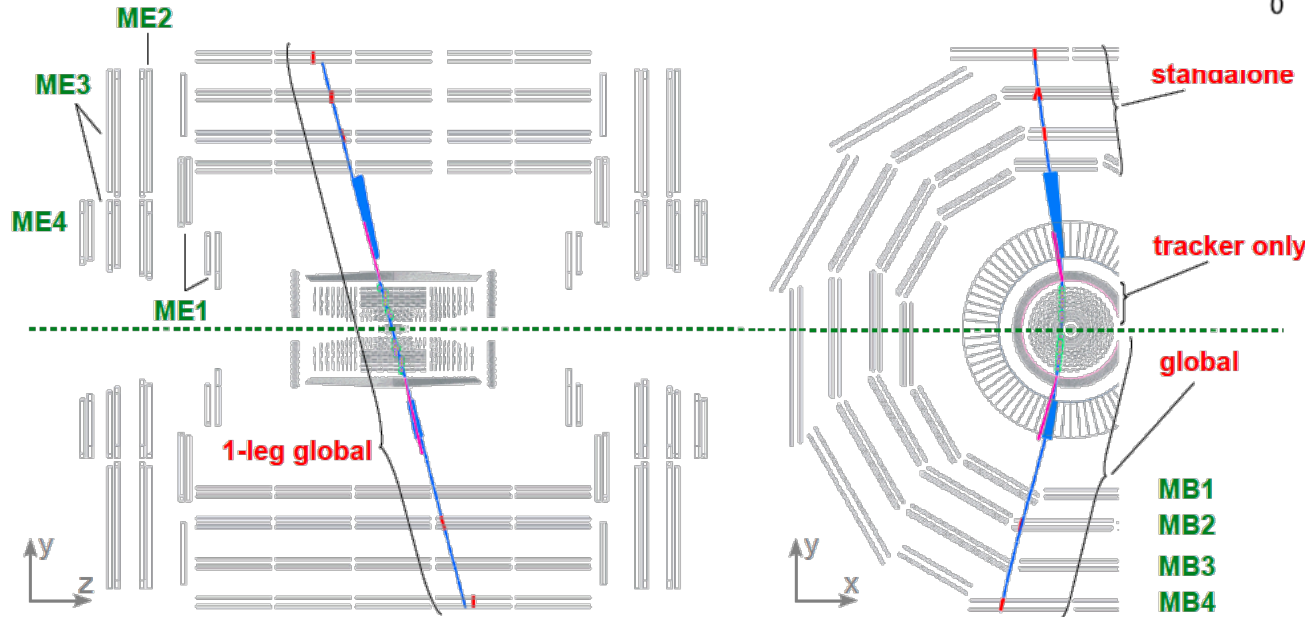
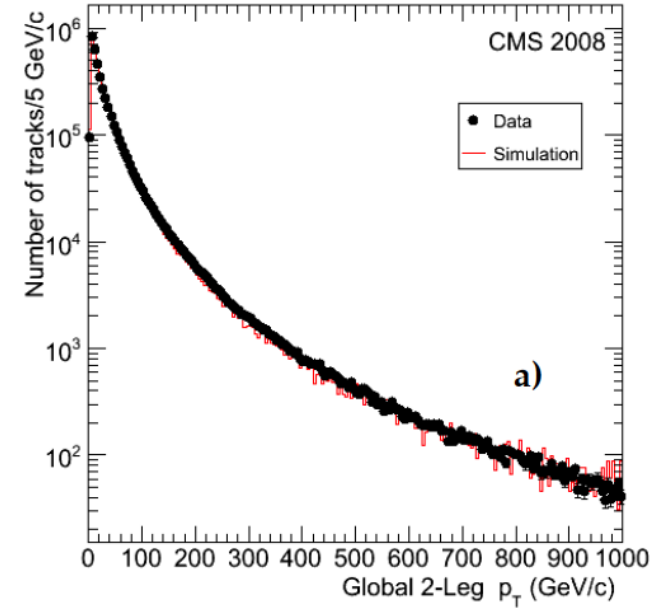


Kozmik münönlär

Kozmik münönlär münön yapılandırma performansını belirlemede yardımcı olur.

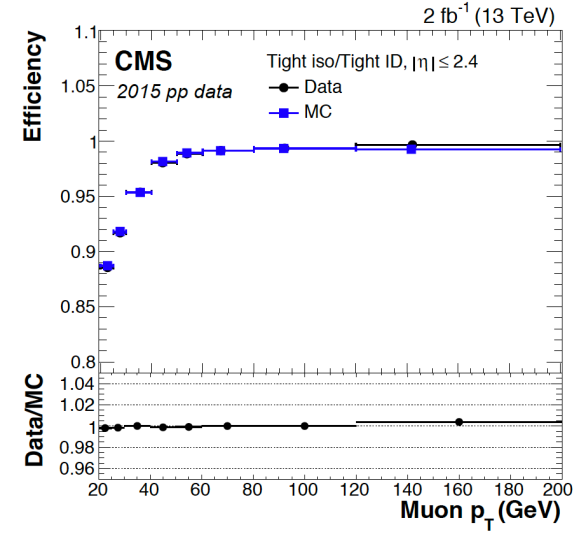
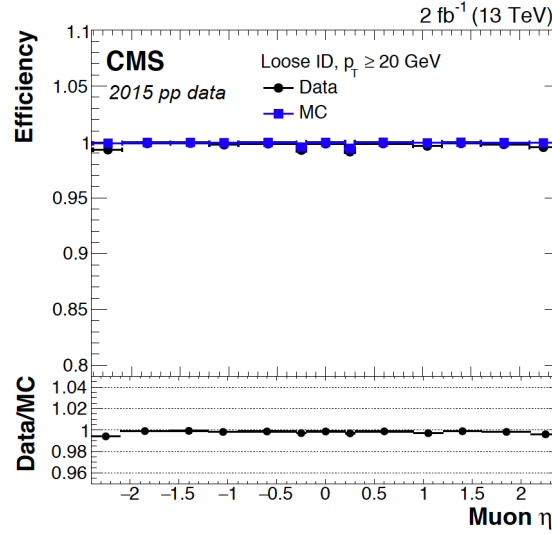
Kozmik münön verisi hızlandırıcı çalışmazken toplanır. Algıç merkezinin yakınından geçen kozmik münönlär simülasyon ile karşılaştırılır.

Aşağıda: CMS algıcından geçen kozmik münönlär

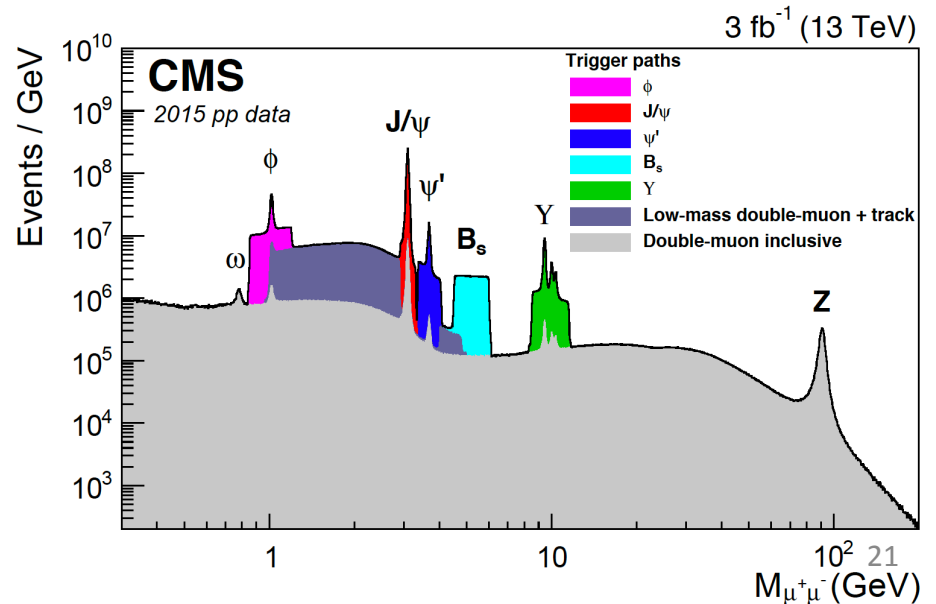


Müon performansı

Müon yapılandırma 5 GeV üstündeki enerjiler için tam verimlilikle gerçekleşir. Ancak tanımlama verimliliği tanımlama algoritmasına göre değişir.

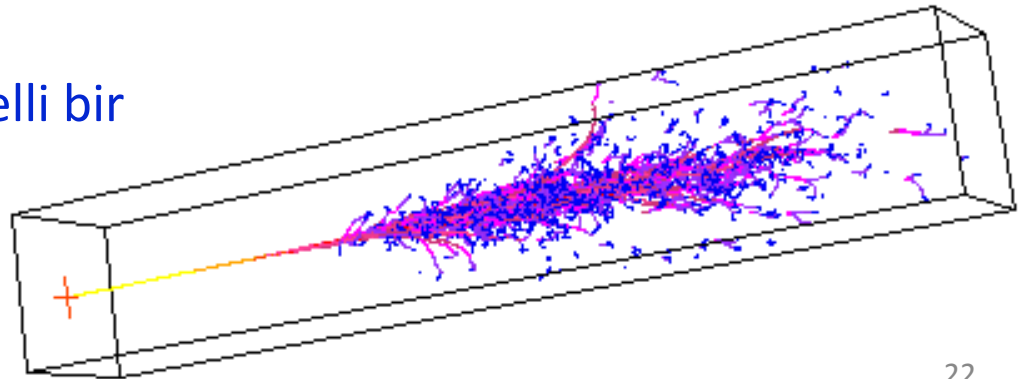
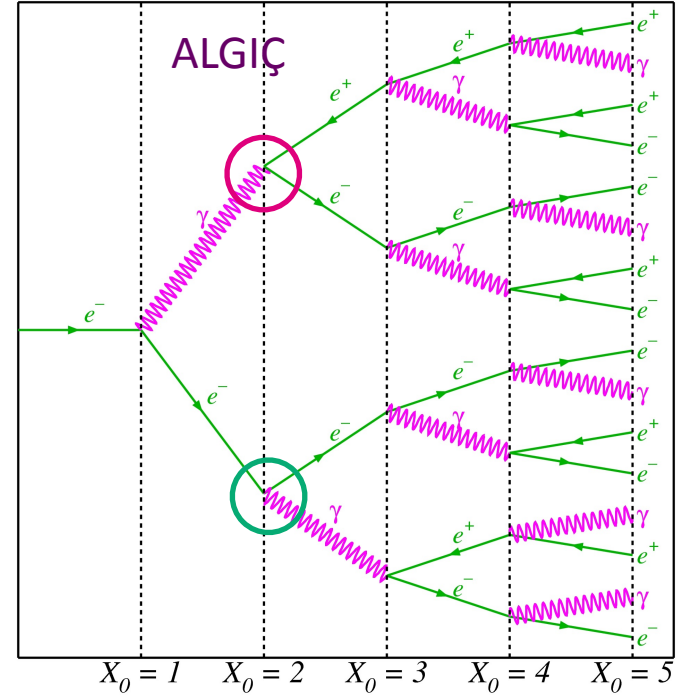


Müon yapılandırma performansı $\mu^+\mu^-$ değişmez kütlesi dağılımındaki veya W dikey kütle dağılımındaki tepelere bakılarak ölçülür.

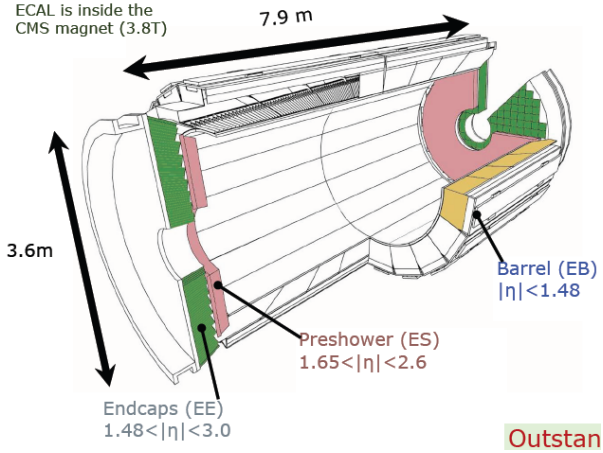


Elektromanyetik aęlayanlar

- Yüksek enerjili ($> O(\text{MeV})$) elektron veya fotonlar kalorimetreye girince oradaki madde ile etkileşerek enerji kaybederler.
- Elektron ve foton iki türlü etkileşir:
 - Elektron/pozitron: Bremsstrahlung
 - Foton: Çift dönüşümü
- Etkileşim sonrasında oluşan ikincil parçacıklar da etkileşir ve bir parçacık ağlayanı oluşturur.
- Etkileşim sonuç parçacıkları belli bir enerjinin altına düşene kadar devam eder.

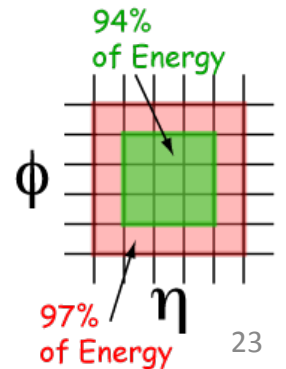
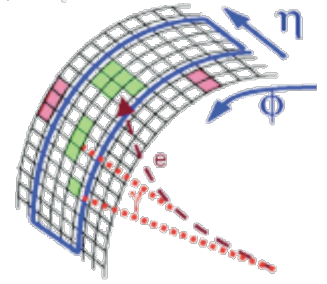


EKALda enerji yapılandırma



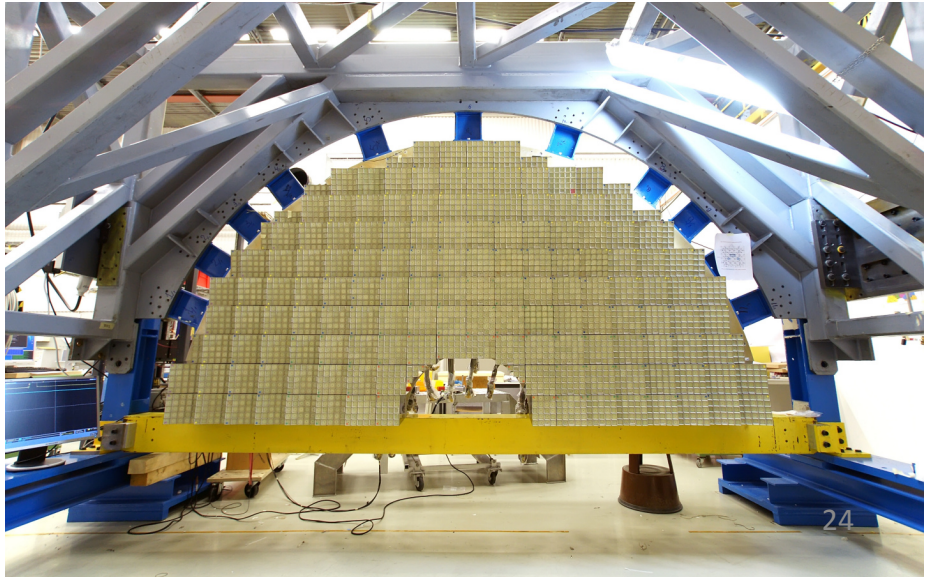
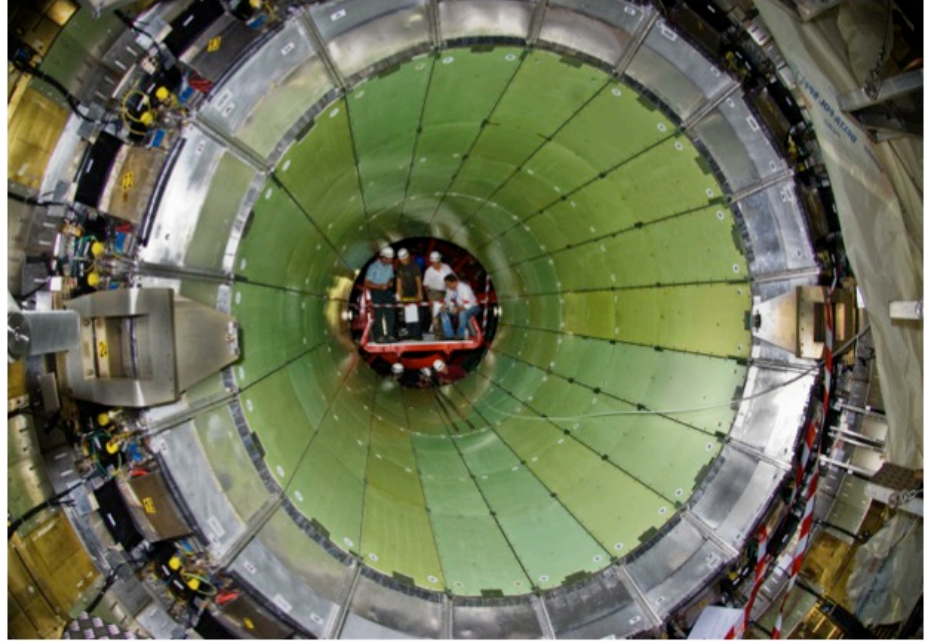
- Elektromanyetik kalorimetreler (EKAL) parçacığın toplam enerjisini soğurmak ve ışıma ile enerji kaybını ölçmek için tasarlanmıştır.
- EKAL pek çok hücreden oluşur. Yüksek çözünürlüklüdür.

- Tek tek hücrelerdeki enerji birikintileri kümeler halinde birleştirilir. Temelde her küme bir parçacığın enerjisini taşıyacak şekilde yapılıdır.
- Kümeleme işlemi elektronlar ve fotonlar için benzerdir. Farklı kümeleme algoritmaları vardır.
- Kümeleme genelde en yüksek enerjili hücreden tohum oluşturup en yakın hücreleri ekleyerek gerçekleşir.

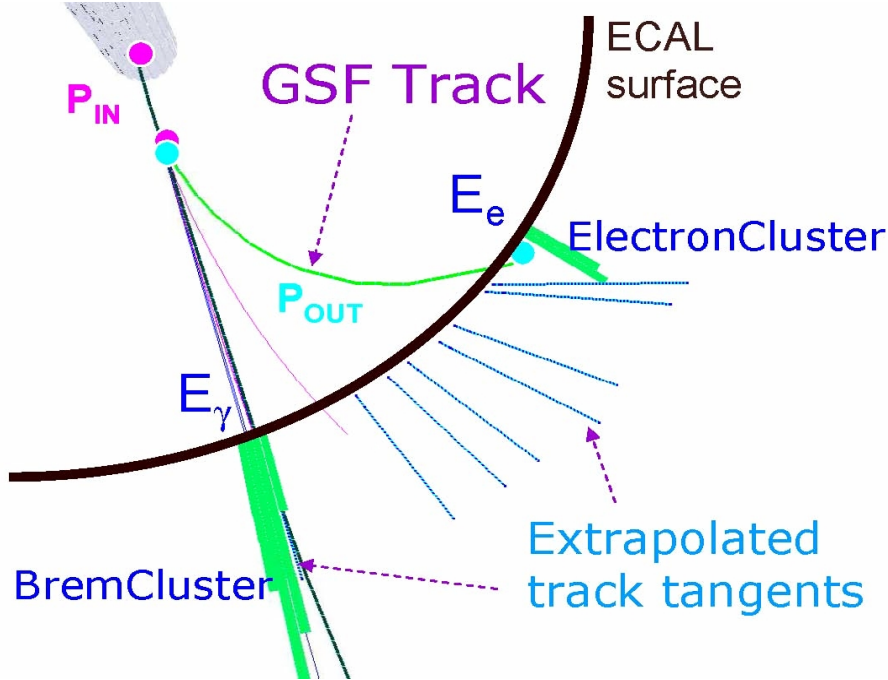


Elektromanyetik kalorimetreler

CMS EKAL PbWO_4 kristallerden oluşur.



Elektron yapılandırma

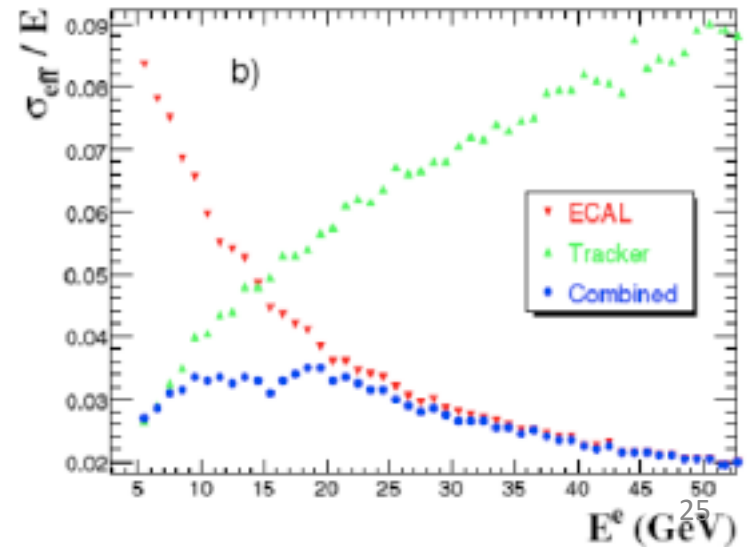


Elektron tanımlama gözlemlenen nesnenin elektron ile ne kadar uyumlu olduğunu belirlemek ve sahte elektronları yakalayıp elemek için kullanılır.

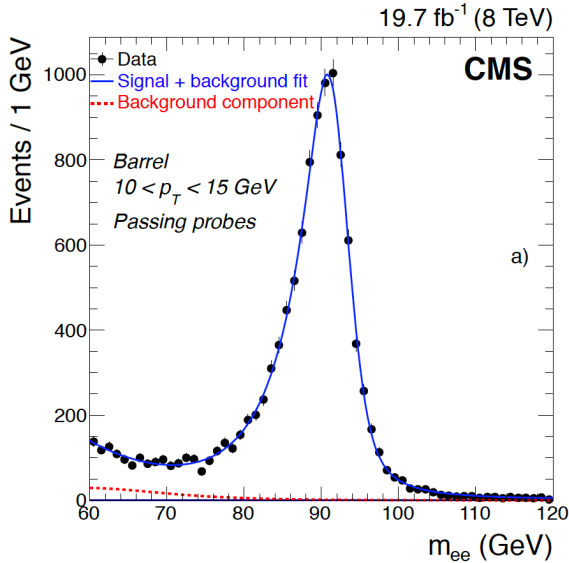
Bazı değişkenler: küme biçimi, çağlayan biçimi, HKALdaki enerji/EKALdaki enerji, iz-küme yakalama değişkeni.

Elektron yapılandırma adımları:

- EKAL hücrelerindeki enerji birikimlerinden kümeler oluşturulur.
- Elektron izleri iz bulma algoritmaları kullanarak bulunur.
- İz-küme eşleştirilir.
- Elektron 4-momentumu belirlenir.

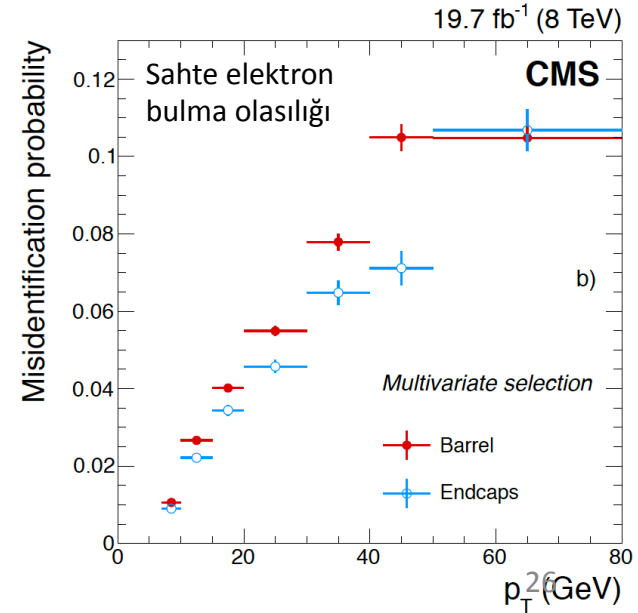
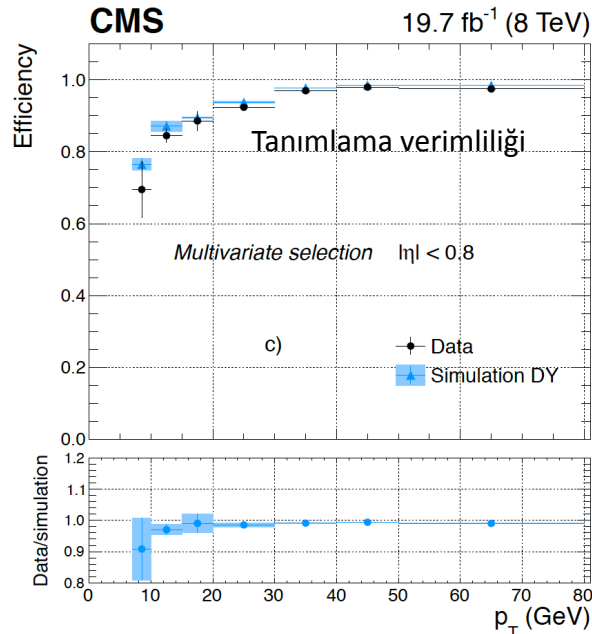
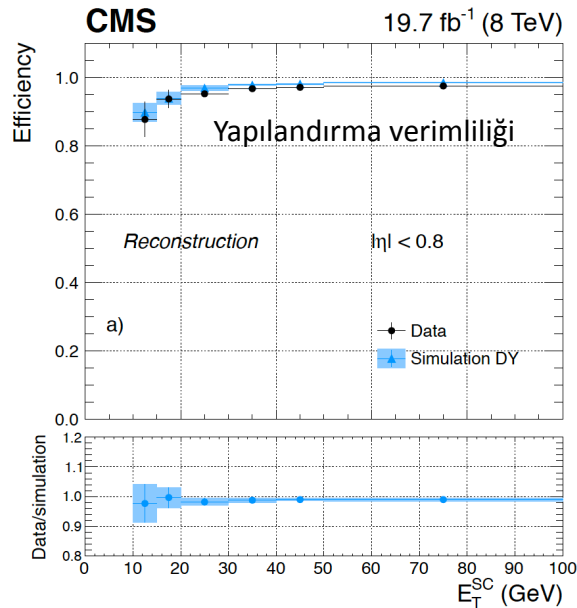


Elektron performansı



Yanda: Rezonans tepeleri elektron yapılandırmanın düzgün çalıştığını gösterir. Ayrıca verimlilik hesaplamada kullanılır.

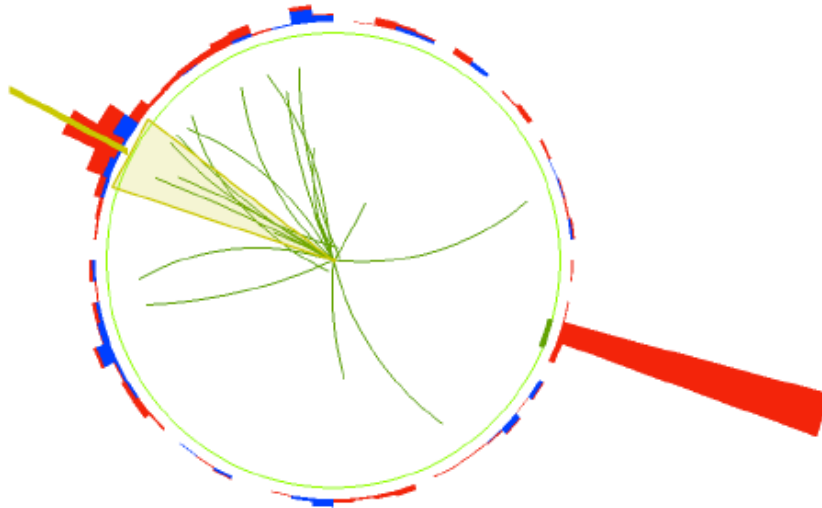
Aşağıda: Elektron yapılandırma ve tanımlama verimliliği, sahte elektron bulma oranı.



Foton yapılandırma

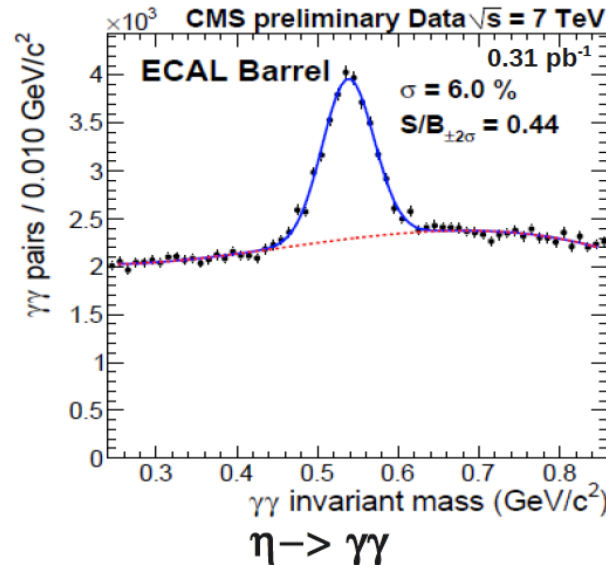
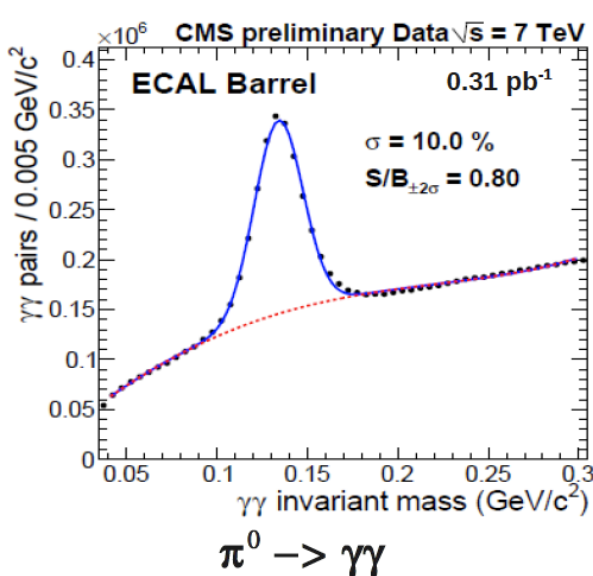


CMS Experiment at LHC, CERN
Data recorded: Thu Jul 1 09:08:48 2010 CEST
Run/Event: 139103 / 222480885



Foton yapılandırma:

- EKAL hücrelerindeki enerji birikimlerinden kümeler oluşturulur.
- Hiç bir iz ile çakışmayan izole kümeler bulunur.
- Kümeler birincil köşe ile çakıştırılarak foton oluşturulur ve 4-momentumu belirlenir.
- İzole fotonlar π^0 lardan ve η lardan yüksek çözünürlüklü çağlayan şekline bakılarak ayırt edilir.

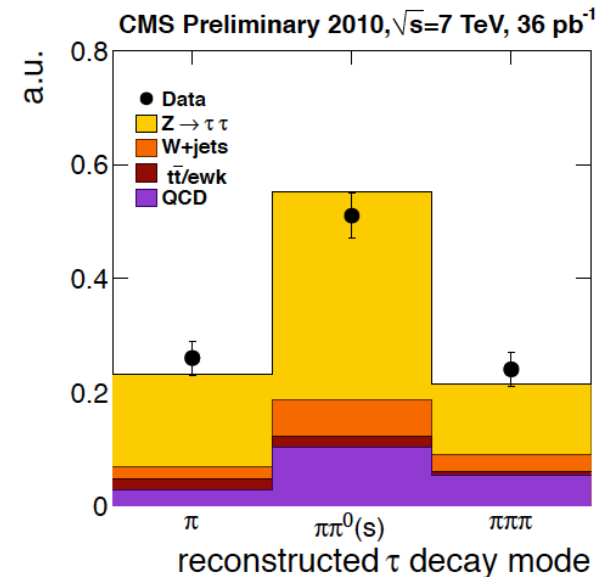
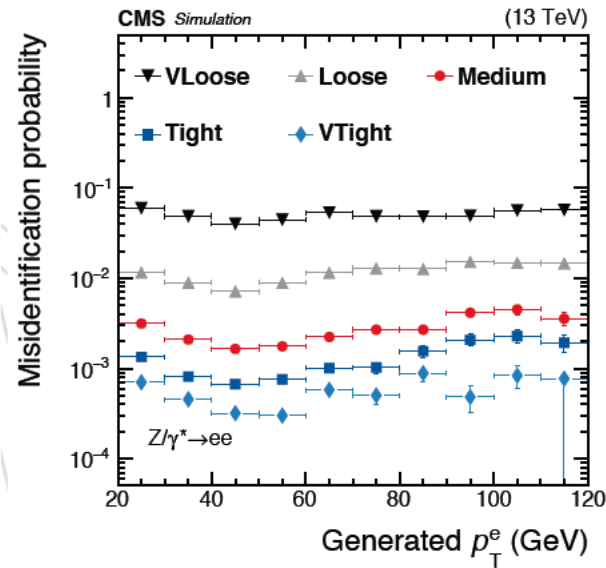
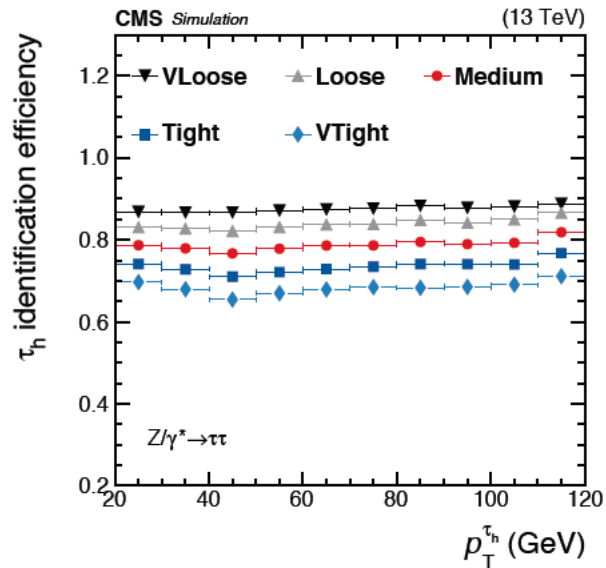
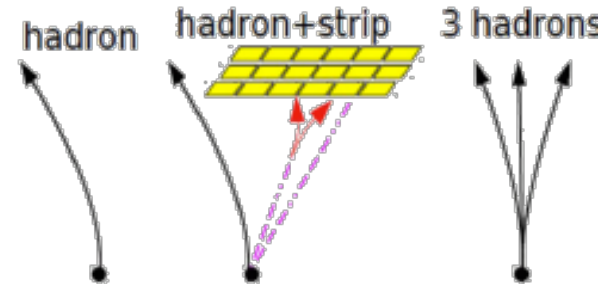


Tau yapılandırmak

Tau parçacık akışı kullanılarak yapılandırılabilir

- İzlerden yüklü parçacıklar bulunur.
- π^0 lar EKALdan bulunur.
- Taurarı tanımlamak için ayırmedici değişkenler kullanılır.

Ana tau bozunma kanalları:



Kayıp dikey enerji yapılandırma

- Elektrik yükü taşımayan ve zayıf etkileşen ya da etkileşmeyen parçacıklar (ör. nötrino, bazı yeni fizik parçacıklar) algıç tarafından gözlemlenemez.
- Bu parçacıkların momentumları, algıçta gözlemlenebilen parçacıkların toplam momentumu bilindiği takdirde yaklaşık olarak hesaplanabilir.
- Kayıp dikey enerji (KDE) / missing transverse energy (MET) dikey düzlemdeki momentum dengesizliğidir:

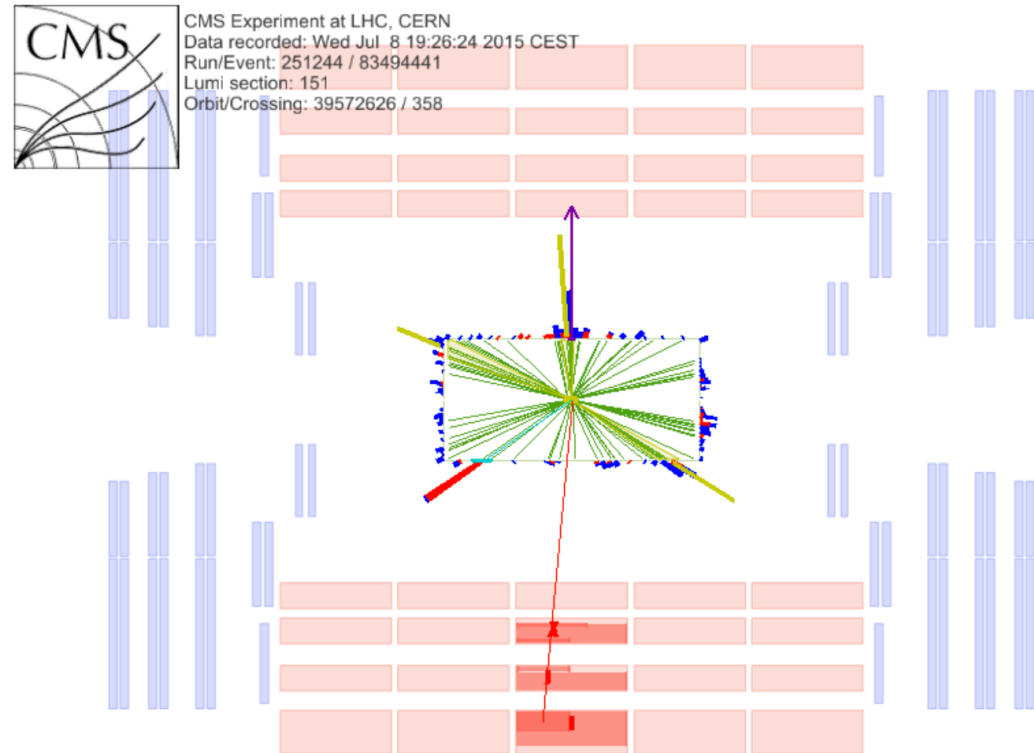
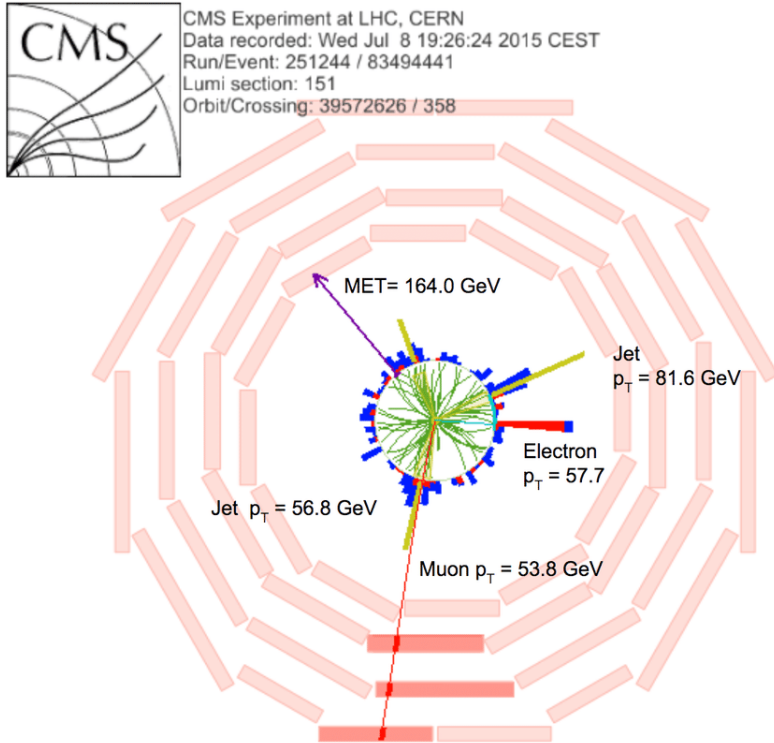
$$E_T^{miss} = \sum_i \vec{p}_T^i$$

- Kayıp dikey enerji ya doğrudan kalorimetre enerjileri (CaloMET), ya kalorimetre enerjileri ile eşleşen izlerin momentumları (TCMET) ya da parçacık akışı (PFMET) gibi düşük düzey nesnelere hesaplanabilir.
- KDE ile benzer işleve sahip başka değişkenler olaydaki jetler, elektronlar vs. gibi yüksek düzey nesnelere de hesaplanabilir (ör.: kayıp hadronik momentum)

Kayıp dikey enerji görünümü

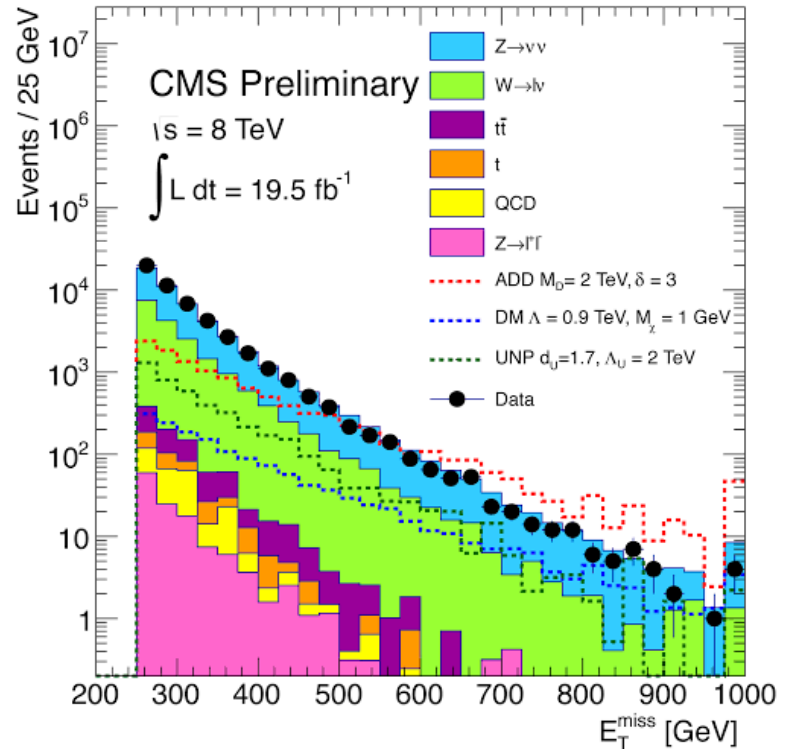
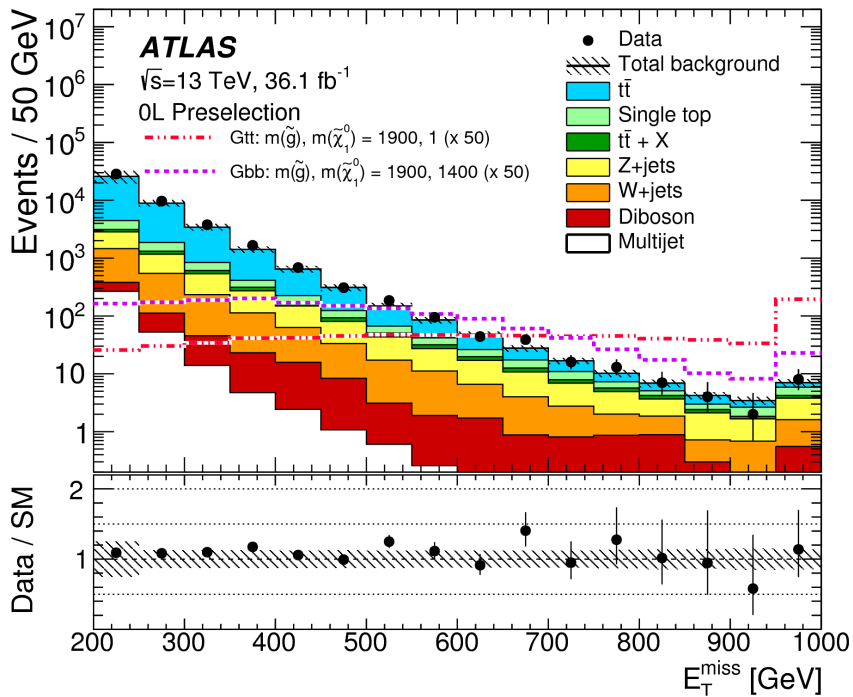
Top-karşıtop oluşum sürecinde W bosonların lepton + nötrinoya gittiği durumda nötrinolar gözlenemediği için kayıp enerji oluşur.

$$pp \rightarrow t\bar{t} \rightarrow WbWb \rightarrow be\nu_e b\mu\nu_\mu$$



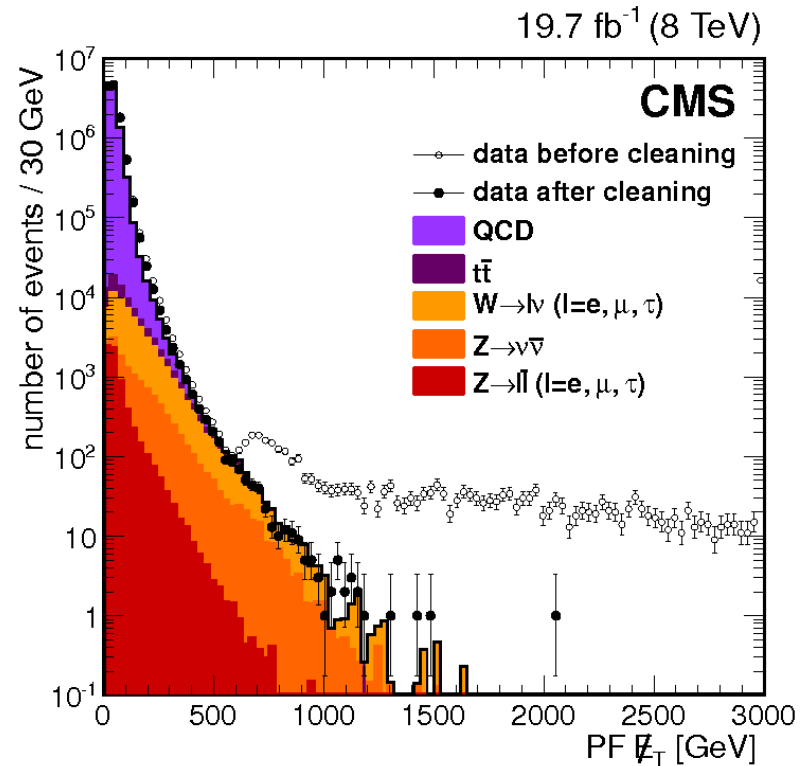
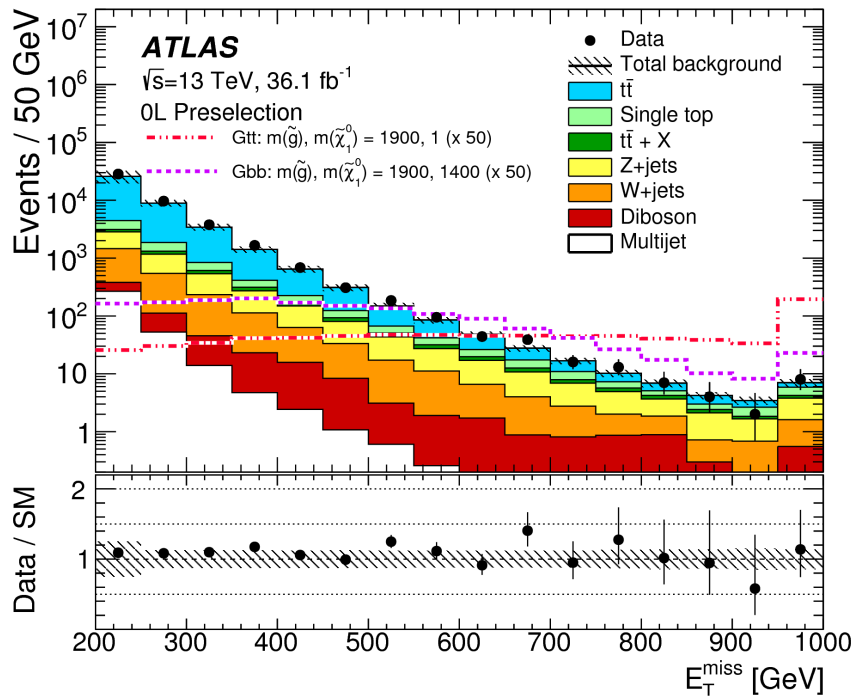
Kayıp dikey enerji önemli

KDE / MET yeni fizik arayışlarında çok önemli bir ayrıştırıcı değişkendir. Özellikle **karanlık madde aday** olacak parçacıkları aramakta kullanılır.



Kayıp dikey enerjiyi düzgün bulmalı!

Yanlışlıkla yeni fizik bulduğumuzu sanmamak için KDEyi doğru bulmak önemli!



Sonuç olarak

- Alt algıçlardaki bilgileri yapboz gibi bütünleştirerek parçacıkları / nesnelere yapılandırırız ve kimliklerini belirleyebiliriz.
- Yapılandırılmış nesnelere kimliğini kesinleştirmek için tanımlama ve izolasyon seçimleri yaparız.
- Doğru yapılandırılmış ve tanımlanmış parçacıklar / nesnelere veri analizinden doğru sonuç almak, doğru ölçüm yapmak için ilk adımdır. İyi tanımlanmamış nesnelere yanlış sonuç verir.
- Şimdi Sertaç'ın dersinde jetleri tanıyacağız.